Aéro et MécaVol pour les nuls

en compte 1/100° du déplacement et donc du frottement. Seule la dernière feuille transmettra ses efforts de frottement au dictionnaire, soit 1/100° de l'effort précédent (le dictionnaire ne "voit" pas les autres feuilles).

Si l'on remplace le dictionnaire par un profil et les feuilles par de l'air en mouvement, on comprend que seule la variation de vitesse de l'air à l'interface immédiat de la surface est importante pour caractériser l'effort de frottement. La seule différence est que, dans le cas de l'air et, sans la présence d'une autre paroi, la loi de variation de vitesse n'est pas constante et que l'épaisseur de la couche sur laquelle la vitesse varie (dite "couche limite") dépend de la nature de l'écoulement. En chaque point de la surface de l'objet, on peut définir un coefficient de frottement Cf à partir de la force de frottement F, en divisant celle-ci par S. On obtient une expression équivalente à une pression "dans le sens de l'écoulement", dite contrainte tangentielle puisque parallèle à la surface de l'objet. Le coefficient de frottement local Cf est obtenu en rapportant cette expression à la pression dynamique $1/2 \cdot \rho \cdot V^2$:

$$\tau_0 = \frac{F}{S} = \mu \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial e}\right)_0$$

$$Cf = \frac{\tau_0}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2}$$

L'écoulement est dit "laminaire" lorsqu'il se comporte exactement comme la pile de feuilles. Il est dit "turbulent" lorsqu'une instabilité provoque un mélange des molécules d'air sous forme de petits tourbillons. Un écoulement laminaire peut très facilement devenir turbulent

(naturellement, ou suite à une petite aspérité sur la surface du profil). On appelle ce changement de régime une "transition" laminaire-turbulent. A contrario, un écoulement turbulent ne peut pas redevenir laminaire. L'évolution typique des vitesses dans une couche limite laminaire ou turbulente est très différente. Idem pour le coefficient de frottement dépendant de cette évolution au voisinage de la surface (figure 4). On peut remarquer que la variation de vitesse est beaucoup plus faible au voisinage de la surface dans une couche limite laminaire que dans une couche limite turbulente. La conséquence directe est que le coefficient de frottement laminaire est typiquement 2 à 5 fois plus faible que le

Sur l'objet complet, la traînée de frottement est égale au coefficient de frottement moyen multiplié par la surface totale de l'objet en contact avec l'écoulement. Le coefficient de frottement moyen est égal à la moyenne des coefficients de frottement sur l'ensemble de l'objet. En conséquence, il est particulièrement intéressant de conserver un écoulement laminaire sur la plus grande partie possible de l'objet. D'où les états de surface "miroir" en vol à voile, malheureusement inaccessibles en parapente...

coefficient de frottement turbulent!

$$Fx_{frott.} = 1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} \cdot Cf_{moy}$$

Enfin, la valeur des coefficients de frottement, laminaire ou turbulent, ainsi

que la transition naturelle entre les 2 types d'écoulements, dépendent très fortement d'un nombre sans dimension, défini par Reynolds :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

D étant une dimension caractéristique de l'objet, par exemple sa longueur, ou sa corde

dans le cas d'un profil. Ce nombre caractérise "l'échelle" de l'objet par rapport à la viscosité du fluide. Dans le cas de l'air au niveau de la mer, l'expression peut être approchée :

$$Re = 70000 \cdot V \cdot D$$

Le coefficient de frottement, laminaire ou turbulent, diminue avec le Reynolds, comme le montrent les courbes suivantes, mesures expérimentales sur une plaque plane (figure 5):

La prochaine chronique traitera de la seconde composante de la traînée de forme, la traînée de pression.

EN COMPLÉMENT DU PAPIER, QUELQUES LIENS SUR LA TRAÎNÉE DE FROTTEMENT ET LA VISCOSITÉ :

- •http://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/
- http://en.wikipedia.org/wiki/Viscous
- http://en.wikipedia.org/wiki/Reynolds_number
- •http://www.engineering.uiowa.edu/~cfd/gallery/i mages
- http://ltcf.tam.uiuc.edu/Downloads/Data/BL/inde x.html

En cadeau, une belle représentation d'un écoulement autour d'une voile :

http://www.mems.rice.edu/TAFSM/AHPCRC94 98/bulletins/v4n2/parachute/.



